

Tutto il mondo è teatro

Digitalizzazione, accessibilità e valorizzazione
della scena scomparsa

All the world is theatre

Digitisation, accessibility and enhancing
of the disappeared scene

TEMI E FRONTIERE DELLA CONOSCENZA E DEL PROGETTO

Direttore scientifico

ORNELLA ZERLENGA, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia

Comitato scientifico

MAURIZIO ANGELILLO, Università degli Studi di Salerno, Italia

PILAR CHÍAS NAVARRO, Universidad de Alcalá, Spagna

VINCENZO CIRILLO, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia

AGOSTINO DE ROSA, Università Iuav di Venezia, Italia

ANTONELLA DI LUGGO, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Italia

MARIA LINDA FALCIDIENO, Università di Genova, Italia

MARINA FUMO, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Italia

LAURA GARCÍA SÁNCHEZ, Universitat de Barcelona, España

PAOLO GIANDEBIAGGI, Università degli Studi di Parma, Italia

MILENA KICHEKOVA, Varna Free University "Chernorizets Hrabar", Bulgaria

KARIN LEHMANN, Hochschule Bochum, Germania

MARIO LOSASSO, Università degli Studi di Napoli "Federico II", Italia

RICCARDO SERRAGLIO, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia

ALEXANDRA SOTIROPOULOU, National Technical University of Athens (NTUA), Grecia

Coordinamento scientifico-editoriale

VINCENZO CIRILLO, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia (Coordinatore)

MARGHERITA CICALA, Università degli Studi della Campania "Luigi Vanvitelli", Italia

DANIELA PALOMBA, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italia

MARIA INES PASCARIELLO, Università degli Studi di Napoli Federico II, Italia

La collana, di carattere multidisciplinare, accoglie volumi che propongono una riflessione critica sull'architettura, sulla città, sull'ambiente (materiale e immateriale) e sull'industrial design, indagandone fonti disciplinari e tendenze culturali con attenzione ai temi della forma, della struttura, dell'innovazione, della rappresentazione e della comunicazione | The book series, of multi-disciplinary nature, includes volumes related to a critical reflection about the architecture, the city, the environment (tangible and intangible), and the industrial design, investigating the disciplinary sources and the cultural trends with regard to the themes of form, structure, innovation, representation and communication.

Sottomissione e referaggio

I volumi pubblicati in questa collana vengono preventivamente esaminati da almeno due membri del Comitato scientifico, i quali valutano se il contributo risponde alle linee di ricerca della Collana, se si basa su un'adeguata analisi bibliografica relativa al tema proposto e se offre una attenta disamina delle fonti e/o delle tendenze in atto rispetto al tema proposto. Superata questa valutazione preliminare, il volume viene sottoposto al criterio internazionale della Double-blind Peer Review ed inviato a due referees anonimi, di cui almeno uno è esterno al Comitato scientifico. I referees, ovvero sia i docenti e ricercatori afferenti a diverse Università ed Istituti di ricerca italiani e stranieri e di riconosciuta competenza negli specifici ambiti di studio, costituiscono il Comitato di referaggio. L'elenco dei referees anonimi e delle procedure di referaggio è a disposizione degli enti di valutazione scientifica nazionale e internazionale | The volumes published in this series are first examined by at least two members of the Scientific Committee, who evaluate whether the contribution meets the series lines of research, if it is based on an adequate literature review concerning the topic proposed, and if it offers a careful examination about sources and/or trends about the proposed theme. After this preliminary assessment, the volume is subjected to the international criteria of Double-blind Peer Review from two anonymous reviewers, or faculty and researchers from Italian and foreign Universities and Research Institutes, with recognized competence in the specific study fields, constitute the refereeing committee. The list of anonymous reviewers and refereeing procedures is available for the national and international scientific evaluation institutions.

a cura di

Massimiliano Ciammaichella

Roberta Ena

Gabriella Liva

Tutto il mondo è teatro

Digitalizzazione, accessibilità e valorizzazione
della scena scomparsa

All the world is theatre

Digitisation, accessibility and enhancing
of the disappeared scene

La scuola di Pitagora editrice

Copertina: Francesco Bognolo, pianta del Teatro San Cassan a livello del palcoscenico, Venezia. Progetto non realizzato, 1762.

Il presente volume è frutto di un progetto di ricerca finanziato dall'Università luav di Venezia nel 2023, dal titolo: "Disegno dell'effimero. Ricostruzioni e itinerari di una scena teatrale scomparsa". Documenta gli esiti di un primo seminario di studi svoltosi il 20 maggio 2024 a Venezia | This volume is the result of a research project funded by the Università luav di Venezia in 2023, entitled: "Drawing the Ephemeral. Reconstructions and itineraries of a vanished theater scene". It documents the outcomes of a first study seminar held on May 2024 in Venice.

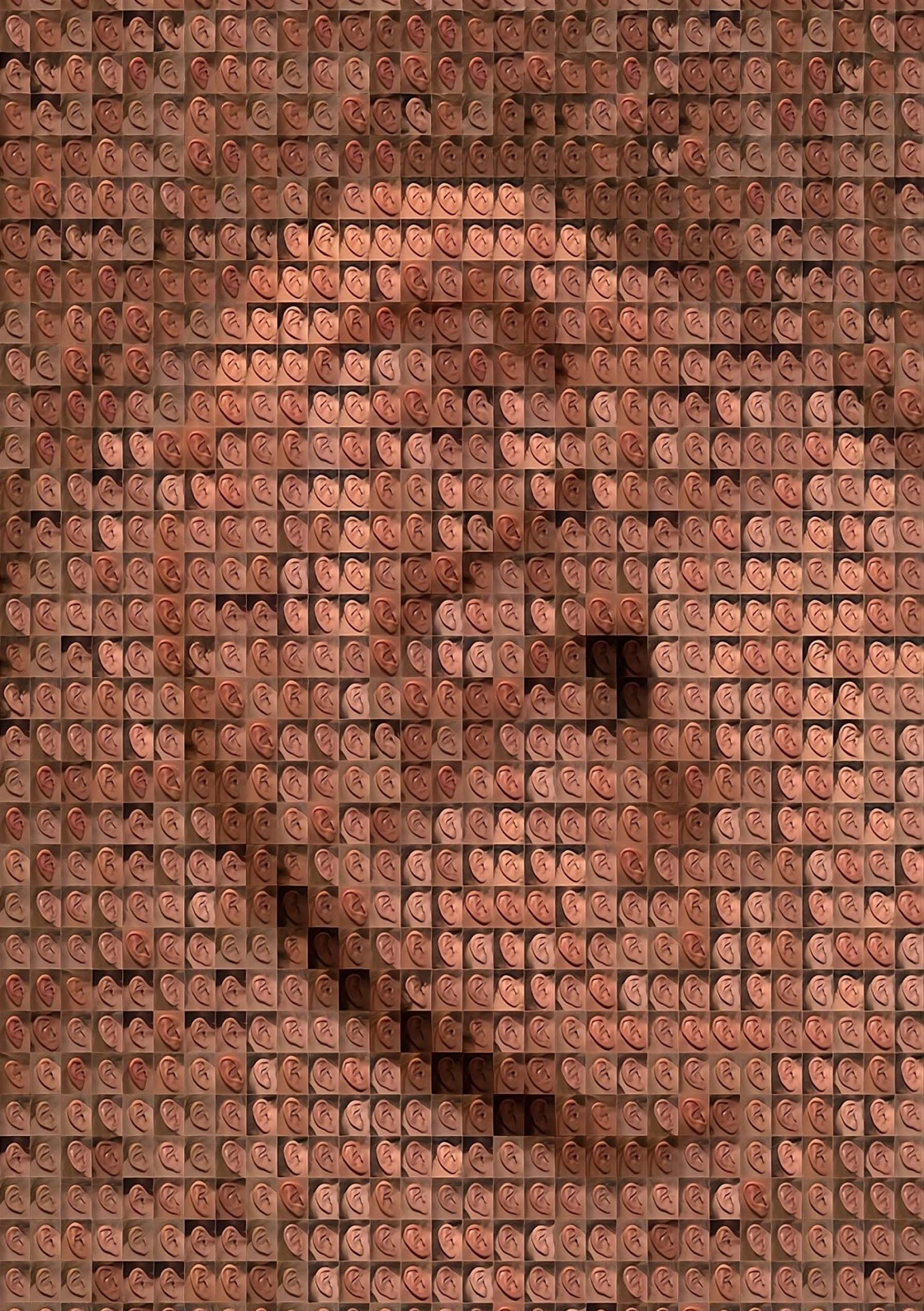
È assolutamente vietata la riproduzione totale o parziale di questa pubblicazione, così come la sua trasmissione sotto qualsiasi forma e con qualunque mezzo, anche attraverso fotocopie, senza l'autorizzazione scritta dell'editore | The total or partial reproduction of this publication, as well as its transmission in any form and by any means, even though photocopies, without the written permission of the author and the publisher is strictly forbidden.

© 2024 - La scuola di Pitagora editrice
Via Monte di Dio, 14
80132 Napoli
Telefono e Fax +39 081 7646814
www.scuoladipitagora.it
info@scuoladipitagora.it

ISSN 2724-3699
ISBN 979-12-5613-014-6

Indice

- 7 **Prefazione \ Preface**
di Agostino De Rosa
- 13 **Introduzione \ Introduction**
di Massimiliano Ciammaichella, Roberta Ena, Gabriella Liva
- 23 **La costruzione della scena prospettica.**
Teorie proiettive e prassi operativa
di Marta Salvatore
- 43 **Il Teatro Grande Barberini.**
L'ausilio dei modelli per lo studio e la rappresentazione degli spazi teatrali scomparsi
di Graziano Mario Valenti, Jessica Romor, Stefano Costantini, Arianna Moretti
- 65 **Interazione sonora negli ambienti virtuali immersivi.**
Il progetto IT'S A DIVE
di Simone Spagnol
- 79 **Moltiplicare la narrazione.**
Una lettura dello spazio scenico, espositivo e di interni, tra design e interazione
di Alessandra Bosco, Lucilla Calogero
- 91 **Performance remains differently.**
INCOMMON, un archivio del teatro sperimentale italiano (1959-1979)
di Giada Cipollone
- 105 **Ricostruire la scena barocca veneziana, tra archivi pubblici e privati**
di Roberta Ena
- 125 **Sinsemia: strumento di accesso alla conoscenza.**
Strutture testuali non lineari come interfacce per l'accesso agli archivi della memoria immateriale
di Luciano Perondi
- 135 **La prospettiva per angolo tra Pozzo e Bibiena: una questione di diritti d'autore**
di Laura Carlevaris
- 159 **Le scene che cadono dall'alto.**
Ingegno e illusione nel Teatro dei SS. Giovanni e Paolo a Venezia
di Gabriella Liva
- 181 **La scena in movimento.**
Ipotesi ricostruttive del Teatro di San Moisè a Venezia
di Massimiliano Ciammaichella
- 199 **Abstract**
- 209 **Bibliografia \ Bibliographical references**



Interazione sonora negli ambienti virtuali immersivi. Il progetto IT'S A DIVE

Simone Spagnol

Gli ambienti 3D virtuali costituiscono oggi uno strumento imprescindibile per la valorizzazione di architetture ormai scomparse, aprendo nuove prospettive nel campo della conservazione e della fruizione del patrimonio storico.

Grazie alle tecnologie di ricostruzione digitale attualmente disponibili, che non solo ripropongono la fisicità e l'estetica degli spazi perduti, ma ne ricollocano il significato all'interno del contesto storico e culturale originario, è possibile far rivivere edifici e complessi monumentali distrutti dal tempo o dagli eventi, offrendo un'esperienza che non si limita alla mera riproduzione visiva, ma coinvolge il visitatore in un'esplorazione immersiva e interattiva.

Le potenzialità offerte da tali tecnologie, pertanto, non si limitano alla conservazione museale, ma si estendono alla possibilità di arricchire la conoscenza del passato e di trasmetterla in forme inedite e accessibili, rinnovando il dialogo tra storia, tecnologia e società.

Una delle principali sfide che il designer si trova ad affrontare in questo contesto riguarda la centralità dell'utente, la quale si declina tipicamente nello sviluppo di servizi e interfacce multimodali che permettano la personalizzazio-

A PAGINA 64:
Fig. 1. *The Aalto PRTF database, collage.*
Illustrazione di Simone Spagnol, rilasciata sotto licenza CC-BY-3.0. Aalto University, 2011.

ne della fruizione individuale dei contenuti. Tuttavia, il raggiungimento di questo fondamentale obiettivo è soggetto alla disponibilità di modelli realistici e multidimensionali che descrivano accuratamente l'ambiente, sia esso fisico o virtuale, le sue modalità di comunicazione – tra cui quella acustica – e, non ultimo, l'utente stesso.

L'abilitazione di un'esperienza immersiva e multisensoriale non può dunque prescindere dal design dello spazio uditivo e dell'interazione sonora all'interno di esso [Franinovic & Serafin, 2013]. Una soluzione potenziale è rappresentata dai sistemi audio 3D, ovvero una famiglia di tecnologie capaci di fornire informazioni precise sulla relazione tra una sorgente sonora, l'ambiente circostante e l'ascoltatore stesso, con quest'ultimo che esercita un ruolo attivo nella trasformazione del suono percepito dall'apparato uditivo. Sebbene tali informazioni non possano essere efficacemente trasferite ad altre modalità di comunicazione (come quella visiva o tattile), i sistemi multimediali di oggi sono prevalentemente focalizzati sull'elaborazione grafica e integrano soluzioni audio relativamente basilari. Di conseguenza, la codifica spaziale dell'audio nella maggior parte dei suddetti sistemi tende a essere eccessivamente semplificata e con capacità di interazione limitate.

Si possono individuare tre ragioni principali per cui molte componenti multimediali manchino di una resa sonora realistica, fallendo così nell'intento di colmare il divario tra il mondo reale e quello virtuale. Innanzitutto, la crescente necessità di larghezza di banda e risorse computazionali può facilmente portare a sovraccarichi di sistema, specialmente nel caso dei dispositivi

mobili. In secondo luogo, le tecnologie audio 3D ad alta fedeltà si basano su dispositivi di riproduzione invasivi e/o costosi (ad esempio, *array* di altoparlanti). Ultimo, ma non meno importante, la diffusa mancanza di volontà nello sviluppo di un'effettiva personalizzazione dei servizi: molti sistemi di distribuzione di contenuti non sfruttano infatti le informazioni sull'ambiente in cui operano e non forniscono alcun adattamento all'utente se non per la profilazione dei dati.

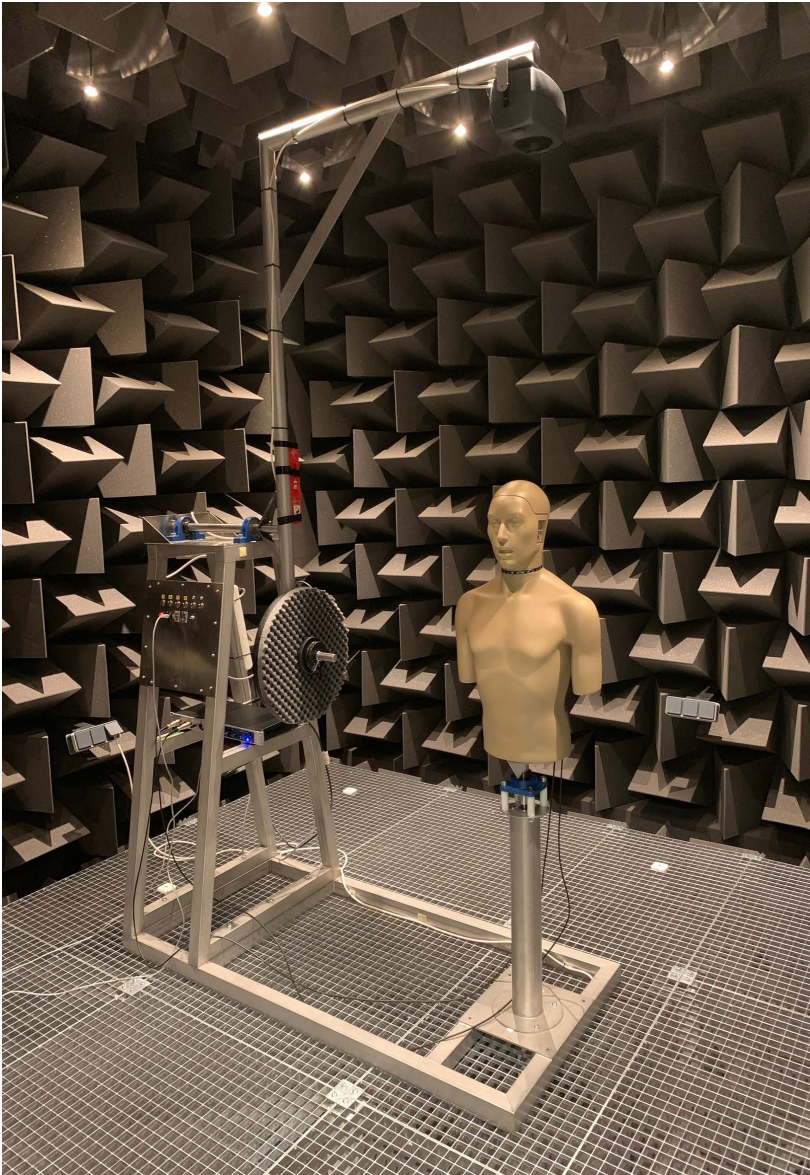
Tra le possibili modalità di comunicazione audio, la stereofonia rappresenta il sistema più semplice in grado di conferire spazialità a una sorgente sonora virtuale, ma un'immagine spaziale corretta può essere resa solo lungo la linea centrale che separa gli altoparlanti (il cosiddetto *sweet spot*). I sistemi *surround* basati su riproduzione multicanale, come i sistemi 5.1 [Holman, 2007] o *Ambisonics* [Gerzon, 1985], soffrono di simili problemi di *crosstalk*, ovvero la percezione indesiderata del suono emesso da un altoparlante da parte di entrambe le orecchie. Nonostante la disponibilità di tecniche di cancellazione del *crosstalk*, queste sono efficaci solo all'interno di regioni di ascolto limitate.

La *Wave-Field Synthesis* (WFS) utilizza invece array di piccoli altoparlanti controllati separatamente per riprodurre una replica fedele di un campo sonoro nell'intero emisfero che si sviluppa tra l'*array* e l'ascoltatore [Berkhout, 1988]. Tuttavia, i metodi di WFS richiedono un *hardware* costoso e ingombrante che li rende utilizzabili soltanto in specifici scenari applicativi, come ad esempio il cinema digitale [Gatzsche et al., 2008]. Di natura radicalmente diversa sono gli approcci basati sulla riproduzione tramite cuff-

Fig. 2. Misurazione di HRTF su un manichino antropomorfo. Foto di Simone Spagnol rilasciata sotto licenza CC-BY-4.0. University of Iceland, 2019.

fie, conosciuti come tecnologie binaurali [Møller, 1992]. Queste si fondano tipicamente sull'utilizzo di *Head-Related Transfer Function* (HRTF), ovvero particolari filtri digitali che catturano gli effetti acustici della testa umana sul suono percepito [Cheng & Wakefield, 2001].

Il fattore chiave delle tecnologie binaurali consiste nella riproduzione del suono prodotto da una o più sorgenti sonore localizzate all'interno di uno spazio virtuale direttamente all'ingresso dei canali uditivi dell'ascoltatore, con la stessa intensità sonora e lo stesso contenuto in frequenza del segnale che verrebbe percepito se le sorgenti fossero situate in uno spazio reale. Grazie a tale strategia, le HRTF permettono una simulazione fedele del segnale percepito in funzione di un'arbitraria posizione di ciascuna sorgente sonora nello spazio virtuale circostante, con svariati possibili utilizzi che spaziano dai videogiochi 3D alle applicazioni di realtà aumentata per i beni culturali [Tsepapadakis & Gavalas, 2023], passando per sistemi di teleconferenza e ausili per viaggiatori non vedenti [Spagnol et al., 2018]. Nell'ambito delle tecnologie binaurali la soluzione che meglio approssima condizioni di ascolto reali è quella che prevede l'utilizzo di HRTF individuali registrate per via acustica con appositi microfoni miniaturizzati posizionati all'ingresso dei canali uditivi dell'ascoltatore, con l'aggiunta di riverbero artificiale per simulare l'acustica dell'ambiente virtuale [Begault et al., 2001; Välimäki et al., 2012]. Tuttavia, la registrazione di HRTF è un processo a bassa riproducibilità che richiede la disponibilità di attrezzature professionali o di laboratorio (fig. 2), tra cui un ambiente anecoico e un sistema di altoparlanti



automatizzato, oltre che protocolli di acquisizione invasivi e costi elevati [Xie, 2013], motivi per cui suddetta tecnologia risulta tuttora inaccessibile al pubblico. Di norma, nelle maggior parte delle applicazioni commerciali si preferisce l'uso di HRTF non individuali, misurate acusticamente su manichini antropomorfi con anatomie considerate mediamente rappresentative [Burkhard & Sachs, 1975] o su soggetti umani generici. Tuttavia, questa scelta comporta diversi svantaggi dal punto di vista percettivo: è infatti altamente probabile che, durante l'ascolto, l'utilizzo da parte di un utente di una HRTF misurata su un altro utente causi frequenti errori di localizzazione quali l'inversione fronte/retro della sorgente sonora virtuale, una ridotta risoluzione sul piano sagittale e l'incapacità di esternalizzare, ovvero localizzare la sorgente stessa al di fuori della propria testa [Møller et al., 1996].

Sebbene le HRTF non individuali siano generalmente in grado di approssimare in modo accettabile le informazioni utilizzate dall'apparato uditivo per percepire la dislocazione orizzontale (sinistra/destra) di una sorgente sonora, le informazioni necessarie per discernere la posizione esatta (alto/basso, fronte/retro) dipendono infatti marcatamente dalle caratteristiche antropometriche dell'orecchio esterno dell'individuo [Abaza et al., 2010]. Alla luce di ciò, diventa fondamentale sviluppare approcci che consentano di raggiungere un equilibrio tra la qualità audio desiderata e i costi, sfruttando, ad esempio, il rinnovato interesse della comunità scientifica per l'intelligenza artificiale.

Il progetto Horizon 2020: "IT'S A DIVE. Individual Three-Dimensional Spatial Auditory

Displays for Immersive Virtual Environments”, svoltosi nel biennio 2019-20 presso il Department of Architecture, Design, and Media Technology (CREATE) della Aalborg University, Copenhagen e in collaborazione con la Faculty of Industrial Engineering, Mechanical Engineering and Computer Science della University of Iceland, si inserisce in questo filone di ricerca. Il fulcro di IT'S A DIVE è stato lo sviluppo di una metodologia innovativa per la personalizzazione di HRTF basata sulla combinazione di tecniche di elaborazione del segnale tradizionali, modelli di propagazione del suono di ispirazione fisica e innovativi algoritmi di *deep learning*, con l'obiettivo di permettere a un qualsiasi utente di ottenere HRTF individuali di buona qualità a basso costo [European Commission, 2021].

Il progetto si è concentrato in particolare sulla modellazione strutturale delle HRTF [Brown & Duda, 1998], ovvero una famiglia di tecniche di simulazione all'avanguardia che prevede che i principali effetti coinvolti nella percezione del suono spaziale (ritardi acustici e ombreggiature dovute alla diffrazione della testa, riflessioni sui profili delle orecchie e delle spalle) vengano isolati e modellati separatamente con piccoli blocchi di filtri digitali indipendenti tra loro. I vantaggi di tale approccio rispetto alle tecnologie binaurali basate su HRTF registrate risiedono nell'elevata adattabilità a un utente specifico, grazie alla parametrizzazione dei modelli su varie misure antropometriche come le dimensioni della testa o la forma delle orecchie, e nell'efficienza computazionale, permettendo di fatto un'implementazione economica e una riproduzione a bassa latenza su qualsiasi dispositivo.

Tale approccio consente di ottenere HRTF personalizzate a partire da immagini o modelli 3D, eludendo così la necessità di registrazioni acustiche insieme con i relativi requisiti logistici e infrastrutturali precedentemente menzionati. Inoltre, permette una fruizione senza soluzione di continuità di audio 3D realistico e individuale, garantendo all'utente il senso di immersione in un qualsiasi ambiente virtuale (Nilsson et al., 2016) nel quale la spazializzazione e la riproduzione del suono personalizzata siano requisiti fondamentali. Il risultato finale di IT'S A DIVE è stato lo sviluppo di un modello strutturale di HRTF completamente personalizzabile, una novità assoluta se confrontata alle soluzioni allora disponibili allo stato dell'arte.

Il modello strutturale è stato realizzato a valle di una varietà di attività di ricerca, tra cui la raccolta di un ampio dataset di HRTF con un focus sul fattore individuale e lo sviluppo di una procedura di valutazione integrata in un gioco di realtà virtuale, in un contesto accademico all'intersezione tra l'ingegneria elettronica e informatica, la fisica acustica e la psicologia della percezione. Più specificatamente, la metodologia di ricerca di IT'S A DIVE si è sviluppata in tre fasi: acquisizione, modellazione e valutazione.

Per quanto riguarda la fase di acquisizione, sono stati dapprima raccolti diversi dataset di HRTF pubblici provenienti da laboratori di ricerca a livello globale e quindi fusi insieme in un comune formato di rappresentazione [Majdak et al., 2022] per formare un unico grande database di misurazioni acustiche effettuate su oltre 400 diversi soggetti umani. Oltre all'organizzazione e all'utilizzo di dati pubblici di terze parti, in que-



sta fase una sostanziale porzione delle risorse è stata dedicata alla raccolta, in collaborazione con la University of Iceland, di un nuovo dataset di misurazioni acustiche in un ambiente altamente controllato, denominato *Viking HRTF dataset* [Spagnol et al., 2019]. Il *Viking dataset* comprende HRTF misurate lungo una densa griglia spaziale su un manichino binaurale con 20 diverse orecchie artificiali (fig. 3) applicate ai microfoni [Spagnol et al., 2020]. I dati antropometrici sono stati sia raccolti da database pubblici che ottenuti con nuove misurazioni su rappresentazioni 2D (immagini dell'orecchio) o 3D (*mesh* della testa). In particolare, le seguenti rappresentazioni relative alla forma dell'orecchio sono state automa-

Fig. 3. I 20 campioni di orecchio artificiale utilizzati per le misurazioni di HRTF. Foto di Simone Spagnol rilasciata sotto licenza CC-BY-4.0. University of Iceland, 2019.

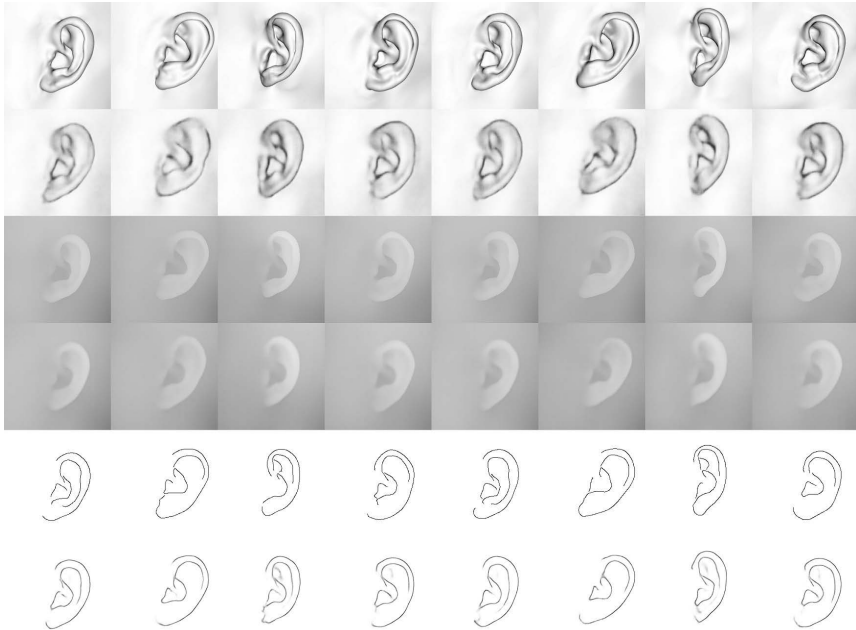


Fig. 4. Rappresentazioni alternative dell'orecchio. Dall'alto in basso: rendering 3D, mappe di profondità e mappe di contorno. Illustrazione di Riccardo Miccini, © 2021 IEEE.

ticamente estrapolate da *mesh* 3D (fig. 4): mappe di profondità [Onofrei et al., 2020]; mappe di contorno, ossia rappresentazioni 2D dei contorni principali del padiglione auricolare [Miccini & Spagnol, 2021]; mappe di riflessione, ovvero selezioni di punti della *mesh* che teoricamente producono riflessioni acustiche verso l'ingresso del canale uditivo [Spagnol et al., 2021].

Come anticipato in precedenza, la fase di modellazione si è concentrata su una combinazione di tecniche di elaborazione del segnale, algoritmi di apprendimento automatico e modelli di propagazione del suono di ispirazione fisica.

Ogni componente strutturale è stata analizzata attraverso algoritmi di elaborazione del se-

gnale sviluppati *ad hoc*: ciò è stato possibile grazie alla disponibilità in alcuni dei *dataset* di HRTF raccolti di risposte parziali di manichini privi di torso o di orecchie. Successivamente, poiché le HRTF sono di natura soggette a problemi di alta dimensionalità a causa dell'ampia gamma di predittori, sono state applicate adeguate tecniche di riduzione della dimensionalità e/o estrazione di feature ai dati HRTF per ottenere rappresentazioni compatte da correlare ai dati antropometrici [Miccini & Spagnol, 2019; Miccini & Spagnol, 2020]. Infine, sono state implementate tecniche di apprendimento automatico all'avanguardia, inclusi algoritmi di *deep learning*, per ottenere il modello che meglio soddisfacesse i requisiti di velocità, interpretabilità e accuratezza.

Questa metodologia ha permesso di realizzare un modello strutturale completo di HRTF che combina al suo interno componenti misurate per via acustica, sintetizzate automaticamente e selezionate da *database* [Miccini & Spagnol, 2021]. Infine, nella fase di valutazione sono state sviluppate metriche di errore relative al segnale e modelli uditivi [Baumgartner et al., 2014] per confrontare le HRTF personalizzate ottenute attraverso il modello strutturale con le HRTF originali di un numero significativo (>100) di soggetti [Spagnol, 2020a; Spagnol, 2020b]. Inoltre, i modelli di HRTF sono stati testati all'interno di un videogioco 3D (fig. 5) con rendering dinamico di sorgenti sonore virtuali integrante una procedura di valutazione individuale [Andersen et al., 2021]. Le metriche raccolte dai test effettuati su 22 diversi partecipanti includono, tra le altre, errori di localizzazione, grado di esternalizzazione e un ampio questionario volto a valutare l'esperienza



Fig. 5. Sezione dell'ambiente 3D sviluppato all'interno del videogioco. Illustrazione di Jonas Siim Andersen, © 2021 IEEE.

utente. Le analisi statistiche effettuate su tali test hanno dimostrato come i partecipanti abbiano ottenuto le migliori prestazioni di localizzazione utilizzando la loro HRTF personalizzata rispetto a una generica HRTF non individuale, in termini di un aumento dell'accuratezza di localizzazione su entrambi gli assi orizzontale e verticale [Andersen et al., 2021]. I risultati del progetto IT'S A DIVE hanno rappresentato un notevole passo in avanti dello stato dell'arte nel campo delle tecnologie binaurali. Considerando l'ostacolo più comune negli studi sulla personalizzazione delle HRTF, ovvero la difficoltà di condurre sperimentazioni controllate su soggetti umani a causa delle limitazioni precedentemente descritte, IT'S A DIVE ha posto una prima pietra verso la risoluzione del problema sfruttando un ambiente di misurazione altamente controllato ed eliminando il fattore umano. Tuttavia, la dimensione del campione risulta ancora insufficiente per modellare efficacemente l'ascolto binaurale individuale,

considerata la sterminata varietà di possibili forme del padiglione auricolare umano.

L'eventualità di estendere tale campione a un numero altamente significativo di soggetti è stata alla base di una nuova linea di ricerca avviata all'interno del *Center of Excellence (CoE) Research on AI- and Simulation-Based Engineering at Exascale* (RAISE), progetto Horizon 2020 recentemente concluso, dedicato allo sviluppo di tecnologie innovative e scalabili di intelligenza artificiale con infrastrutture di *supercomputing* e alla loro applicazione a casi d'uso rappresentativi dell'ingegneria e delle scienze naturali [CoE RAISE, 2021]. Progetti di ricerca di questo tipo, sia accademici che industriali, offrono opportunità concrete per superare i limiti attuali, avvicinando a un futuro in cui le tecnologie multimediali garantiranno una resa acustica autentica e una personalizzazione sempre più raffinata, rivoluzionando così l'esperienza utente.

**Sonic interaction in immersive virtual environments.
The IT'S A DIVE project**

Simone Spagnol

Virtual 3D environments have become an essential tool for the appreciation of long-lost architectural heritage, opening new avenues in the fields of preservation and accessibility of historical assets. Thanks to the current digital reconstruction technologies, which not only restore the physicality and aesthetics of lost spaces but also reposition their significance within their original historical and cultural context, it is possible to revive buildings and monumental complexes destroyed by time or events. This offers an experience that goes beyond mere visual reproduction, engaging the visitor in an immersive and interactive exploration. Such an experience cannot overlook the design of the auditory space and the sonic interaction within it, requiring a faithful and personalized simulation of the 3D virtual environment as perceived by the user.

This essay aims to discuss the contribution of the Horizon 2020 project IT'S A DIVE (*Individual Three-Dimensional Spatial Auditory Displays for Immersive Virtual Environments*) in this domain, through the development of an innovative methodology for 3D audio personalization that combines traditional signal processing techniques, physics-inspired sound propagation models, and cutting-edge deep learning algorithms.

Bibliografia

Bibliographical references

Abaza, A., Ross, A., Hebert, C., Harrison, M.A.F., & Nixon, M. S. (2010). A survey on ear biometrics. *ACM Transactions on Embedded Computing Systems*, 9(4), 39:1–39:33.

Adami, G. (2003). *Scenografia e scenotecnica barocca tra Ferrara e Parma (1625-1631)*. Roma: «L'Erma» di Bretschneider.

Alberti, C. (1997). L'invenzione del teatro. In G. Benzoni & G. Cozzi (Eds.), *Storia di Venezia dalle origini alla caduta della Serenissima. La Venezia barocca* (vol. 7, 701-758). Roma: istituto della Enciclopedia Italiana fondata da Giovanni Treccani.

Andersen, J.S., Miccini, R., Serafin, S. & Spagnol, S. (2021). Evaluation of individualized HRTFs in a 3D shooter game. In *Proceedings of the 1st International Conference on Immersive and 3D Audio*. Bologna: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Argan, G.C. (1983). *Storia dell'arte come storia della città*. Roma: Editori Riuniti.

Arnheim, R. (2008). *Arte e percezione visiva. Nuova versione*. Milano: Feltrinelli.

Austin, T. (2020). *Narrative environments and experience design: Space as a medium of communication*. New York: Routledge.

Baglioni, L. (2019). Progettare l'effimero: analisi e indagini sulle macchine delle Quarantore di Andrea Pozzo. *Riflessioni. Atti del 41° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*. Roma: Gangemi Editore.

Baglioni, L. & Migliari, R. (2018). Lo specchio alle origini della prospettiva. *Disegnare. Idee Immagini*, 56, 42-51.

Baglioni, L. & Salvatore, M. (2018). La teoria dei punti di concorso nella scenografia di Guidobaldo del Monte. *disegno*, 3, 41-52.

Baglioni, L. & Salvatore M. (2021). Andrea Pozzo e l'arte dei linguaggi scenici. In *Connettere. Un disegno per annodare e tessere. Linguaggi Distanze Tecnologie. Atti del 42° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*. Milano: FrancoAngeli.

Baldacci C. (2016). *Archivi impossibili. Un'ossessione dell'arte contemporanea*. Milano: Johan&Levi.

Barbaro, D. (1568). *La pratica della prospettiva di Monsignor Daniele Barbaro eletto patriarca d'Aquileia*. Venetia: Camillo & Rutilio Borgominieri fratelli.

Baumgartner, R., Majdak, P., & Laback, B. (2014). Modeling sound-source localization in sagittal planes for human listeners. *Journal of the Acoustical Society of America*, 136(2), 791-802.

Begault, D. R., Wenzel, E. M., & Anderson, M. R. (2001). Direct comparison of the impact of head tracking, reverberation, and individualized head-related transfer functions on the spatial perception of a virtual speech source. *Journal of the Audio Engineering Society*, 49(10), 904-916.

Benyon, D. (2014). *Spaces of interaction, places for experience*. San Rafael, CA: Morgan & Claypool.

Berkhout, A. J. (1988). A holographic approach to acoustic control. *Journal of the Audio Engineering Society*, 36, 977-995.

Berlangieri, M.G. (2020). La forma dell'inarchiviabile. Fonti, dati, metadati: i documenti teatrali e la rimediazione digitale. *Arti dello spettacolo/Performing Arts*, anno VI. Special Issue. Open Data-Open Access: New Frontiers for Archives and Digital Platforms dedicated to Performing Arts, 16-22.

Bertati, G. (1792). *Il matrimonio segreto*. Vienna: Nel Imperial Teatro di Corte.

Bianconi, L. & Walker, T. (1975). Dalla Finta pazza alla Veremonda: Storie di febiarmonici. *Rivista Italiana di Musicologia*, 10, 379-454.

Biggi, M.I. & Mangini G. (2001). *Teatro Malibran. Venezia a San Giovanni Grisostomo*. Venezia: Marsilio.

Bjurnsröm, P. (1966). Unveröffentlichtes von Nicodemus Tessin d. J. Reisenotizen über Barock-Theater in Vene-

dig und Piazzola. *Kleine Schriften der Gesellschaft für Theatergeschichte*, 21, 1966, 14-41.

Bisaccioni, M. (1644). *Apparati scenici per lo Teatro Novissimo di Venetia. Nell'anno 1644 d'inventione, e cura di Iacomo Torelli da Fano. Dedicati all'Eminentissimo Principe il Cardinal Antonio Barberini*. Venezia: Gio. Vecellio e Matteo Leni.

Bolzoni, L. (2012). *The gallery of memory: Literary and iconographic models in the age of the printing press*. Toronto: University of Toronto Press.

Bonini Lessing, E. (2010). Notazioni sinsemiche di processi interattivi. *Il Verri*, 43, 85-91.

Bonomi, S. (2020). I teatri Grimani di Venezia verso la metà del XVIII secolo. *Drammaturgia*, 17(7), 103-158.

Borsotti, M. (2017). *Tutto si può narrare: Riflessioni critiche sul progetto di allestimento*. Milano-Udine: Mimesis.

Bosco, A. (2024). Interni: Spazi di narrazione. In E. Bonini, A. Bosco, L. Calogero & M. Dalla Mura (Eds.), *Interior/Design. Espandere il campo* (53-66). Dueville: Ronzani.

Bracca, S. (2014). *L'occhio e l'orecchio. Immagini per il dramma per musica nella Venezia del '600*. Treviso: Zel.

Brilli, S. (2021). Perché c'è una scena anziché il nulla? Componenti relazionali della scena performativa italiana (1959-1979). In I. Caleo, P. Di Matteo & A. Sacchi (Eds.), *In fiamme. La performance nello spazio delle lotte (1967-1979)* (250-269). Venezia: bruno.

Brown, C.P. & Duda, R.O. (1998). A structural model for binaural sound synthesis. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 6(5), 476-488.

Brückner, U.R. (2011). *Scenography. Atelier Brückner 2002-2010: Make spaces talk*. Stuttgart: Avedition.

Burgio, V., & Raffaetà, R. (2024). Organizing microbial diversity and interspecies relations through diagrams: Trees, maps, and the visual semiotics of the living. *Biosemiotics*, 1-28.

Burkhard, M.D. & Sachs, R.M. (1975). Anthropometric manikin for acoustic research. *Journal of the Acoustical Society of America*, 58(1), 214-222.

Carini Motta F. (1676). *Trattato sopra la struttura de Theatri, e Scene. Che à nostri giorni si costumano, e delle Regole per far quelli con proportione secondo l'insegnamento della pratica Maestra Commune di Fabricio Carini Motta [...]*. Guastalla: Alessandro Giavazzi.

Carlevaris, L. (2024). *L'Ottica di Claudio Tolomeo nella storia della prospettiva*. Roma: Quasar.

Carlevaris, L. (2003). La prospettiva nell'ottica antica: il contributo di Tolomeo. *Disegnare. Idee Immagini*, 27, 16-29.

Carlevaris, L., Menchetelli, V. & Monarchi, C. (in corso di stampa). Architettura e illusione nelle opere ombre di Pietro Carattoli. Analisi prospettica e confronto con i modelli e l'opera di Pozzo e Bibiena. In *Atti del Convegno Quadraturismo e grande decorazione*. Varese, Italia ed Europa (secc. XV-XX), Varese.

Casson, D. (2020). *Closed on Mondays: Behind the Scenes at the Museum*. London: Lund Humphries.

Castelli, G. (1675). *L'Almerico in Cipro. Drama per Musica*. Venezia: Francesco Nicolini.

Chassebras de La Cremaille, J. (1683). *Cronaca delle opere rappresentate a Venezia durante il Carnevale dell'anno 1683*. Le Mercure Galant, mars 1683, 230-309.

Cheng, C.I. & Wakefield, G.H. (2001). Introduction to Head-Related Transfer Functions (HRTFs): Representations of HRTFs in time, frequency, and space. *Journal of the Audio Engineering Society*, 49(4), 231-249.

Ciammaichella, M. (2022). Memoria dell'effimero. Verso un archivio digitale del teatro e della scena barocca italiana. *diségno*, 10, 147-160.

Ciammaichella, M. (2021). *Scenografia e prospettiva nella Venezia del Cinquecento e Seicento. Premesse e sviluppi del teatro barocco*. Napoli: La scuola di Pitagora.

Cipollone, G. (2024). *Corpi a fuoco. Fotografia, performance, femminismo in Italia negli anni settanta*. Venezia: Marsilio.

Cóccioli Mastroviti, A. (1998 a). *Galli Bibiena*. Retrieved April 14, 2024 from https://www.treccani.it/enciclopedia/gallibibiena_%28Dizionario-Biografico%29.

Cóccioli Mastroviti, A. (1998 b). *Ferdinando Galli Bibiena*. Retrieved April 14, 2024 from <https://www.treccani.it/enciclopedia/ferdinando-galli-bibiena>.

CoE RAISE (2021). *Sound engineering. Center of Excellence in Research on AI- and Simulation-Based Engineering at Exascale*. Retrieved April 10, 2024 from <https://www.coe-raise.eu/sound-engineering>.

Colombo, G. (2021). Dare forma all'inarchiviabile. Progettare un archivio del teatro italiano degli anni Sessanta e Settanta. *Progetto grafico*, 37, 63-78.

Concina, E. (1988). *Pietre, parole, storia. Glossario della costruzione nelle fonti veneziane (secoli XV-XVIII)*. Venezia: Marsilio.

Cousin, J. (1560). *Livre de perspective*. Paris: J. Le Royer.

Cruciani, F. (2001). *Lo spazio del teatro*. Bari: Laterza.

Daniel, E. (1980). *Joachim of Fiore and the history of the Apocalypse*. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.

Daolmi, D. (2006). La drammaturgia al servizio della scenotecnica. Le 'volubili scene' dell'opera barberiniana. *Il Saggiatore musicale*, 13(1), 5-62.

de Moratìn, L.F. (2010). *Viaggio in Italia (1793-1796)*. Roma: Lombardi Editori.

De Matteis, F. (2020). *Vita nello spazio: Sull'esperienza affettiva dell'architettura*. Milano-Udine: Mimesis.

Del Monte, G. (1600). *Perspectivae libri sex*. Pisauri: Heronymum concordiam.

Dernie, D. (2006). *Exhibition design*. London: Laurence King Publishing.

Engelhardt, Y. (2012). *The language of graphics: A framework for the analysis of syntax and meaning in maps, charts and diagrams*. Amsterdam: Vossiuspers UvA.

European Commission (2021). *Individual Three-dimensional Spatial Auditory Displays for Immersive Virtual Environments. Community Research and Development Information Service (CORDIS), European Commission*. Retrieved April 10, 2024 from <https://cordis.europa.eu/project/id/797850>.

Falk, J.H. & Dierking, L.D. (2000). *Learning from museums: Visitor experiences and the making of meaning*. Walnut Creek, CA: AltaMira Press.

Ferrone, S. (1993). *Attori mercanti corsari. La Commedia dell'Arte in Europa tra Cinque e Seicento*. Torino: Einaudi.

Ferroni, G. (1991). *Storia della letteratura italiana. Il Novecento*. Torino: Einaudi.

Filippi, E. (2002). *L'arte della prospettiva. L'opera di Andrea Pozzo e Ferdinando Galli Bibiena in Piemonte*. Firenze: Leo S. Olschki Editore.

Franinovic, K. & Serafin, S. (Eds.) (2013). *Sonic interaction design*. Cambridge, MA: MIT Press.

Galli Bibiena, F. (1753). *Direzioni a' giovani studenti nel disegno dell'architettura civile, nell'Accademia Clementina dell'Istituto delle Scienze, unite da Ferdinando Galli Bibiena*. Bologna: Nella stamperia di Lelio dalla Volpe.

Galli Bibiena, F. (1719 ca.). *Varie opere di Prospettiva inventate da Ferdinando Galli d.o il Bibiena Bolognese Pittore, et Architetto dell'A: SS.ma del Sig:re Duca di Parma Raccolte da Pietro Abbati, et intagliate da Carlo Antonio Buffagnotti*. Bologna: Giacomo Camillo Mercati.

Galli Bibiena, F. (1711). *L'architettura civile preparata su la geometria e ridotta alle prospettive. Considerazioni pratiche*. Parma: Paolo Monti.

Galvani, L.N. (1969). *I teatri musicali di Venezia nel secolo XVIII (1637-1700): Memorie storiche e bibliografiche raccolte ed ordinate da Livio Niso Galvani*. Bologna: Libreria Editrice Forni.

Gatzsche, G., Michel, B., Delvaux, J., & Altmann, L. (2008). Beyond DCI: The integration of object oriented 3D sound into the Digital Cinema. In *Proceedings of the 2008 Networked & Electronic Media Summit*. Saint-Malo: NEM.

Gerzon, M.A. (1985). Ambisonics in multichannel broadcasting and video. *Journal of the Audio Engineering Society*, 33, 859-871.

Giannini, G.M. (1677). *Il Nicomede in Bitinia. Drama per Musica*. Venezia: Francesco Nicolini.

Giazotto, R. (1967). La guerra dei palchi. Documenti per servire alla storia del teatro musicale a Venezia come istituto sociale e iniziativa privata nei secoli XVII e XVIII. *Nuova Rivista Musicale Italiana*, I, 245-286.

Griswold, W.M. (1991). Guercino. *The Metropolitan Museum of Art Bulletin*, 48(4), 5-56.

Guido, G. (1855). *Ragguaglio delle monete, dei pesi e delle misure attualmente in uso negli stati italiani e nelle principali piazze commerciali d'Europa*. Firenze: presso G.G. Guidi e U. Pratese.

Hann, R. (2019). *Beyond scenography*. New York: Routledge, Taylor & Francis Group.

Harris, R. (1995). *Signs of writing*. London: Routledge.

Holl, S., Pallasmaa, J. & Perez-Gomez, A. (2007). *Questions of perception: Phenomenology of architecture*. San Francisco: William Stout Publishers.

Holman, T. (2007). *Surround sound: Up and running*. London: Routledge.

Horn, A. (2018). Teatri Sacri. Andrea Pozzo and the Quarant'ore at the Gesù. In L. Wolk-Simon (Ed.), *The Holy Name: Art of the Gesù; Bernini and His Age (351-371)*. Philadelphia: Saint Joseph's University Press.

Huang, S.C., Bias, R.G., & Schnyer, D. (2015). How are icons processed by the brain? Neuroimaging measures of four types of visual stimuli used in information systems. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 66(4), 702-720.

Kostelnick, C. (2012). Visualizing technology and practical knowledge in the Encyclopédie's plates: Rhetoric, drawing conventions, and enlightenment values. *History and Technology*, 28(4), 443-454.

Koutamanis, A. (2006). *Buildings and affordances*. In *Proceedings of Design computing and cognition '06*. Berlin: Springer.

Lamothe, V.C. (2009). *The Theater of Piety: Sacred Operas for the Barberini Family (Rome, 1632-1643)*. Chapel Hill: Doctoral dissertation, University of North Carolina.

Lane, F.C. (1991). *Storia di Venezia*. Torino: Einaudi.

Lenzi, D. (1991). Ferdinando e Francesco Bibiena. I grandi padri della veduta per angolo. In A.M. Matteucci & A. Stanzani (a cura di). *Architetture dell'Inganno. Cortili bibieneschi e fondali dipinti nei palazzi storici bolognesi ed emiliani* (89-110). Bologna: Arts & Co.

Loria, G., (1921). *Storia della geometria descrittiva*. Milano: Hoepli.

Lupton, E. (2017). *Design Is Storytelling*. New York: Cooper Hewitt, Smithsonian Design Museum.

Lüthy, C. (2018). What does a diagram prove that other images do not? Images and imagination in the Kepler-Fludd controversy. In C. Lüthy, C. Swan, P.J.J.M. Bakker & C. Zittel (Eds.), *Image, imagination, and cognition* (227-274). Leiden: Brill.

Majdak, P., Zotter, F., Brinkmann, F., De Muynke, J., Mihočic, M., & Noisternig, M. (2022). Spatially Oriented Format for Acoustics 2.1: Introduction and recent advances. *Journal of the Audio Engineering Society*, 70(7/8), 565-584.

Mancini, F. (1966). *Scenografia italiana. Dal Rinascimento all'età romantica*. Milano: Fratelli Fabbri Editori.

Mancini, M.F. (2020). *Esordio, maturità e consacrazione internazionale di Andrea Pozzo. Prospettiva e architettura nei grandi cicli di Mondovì, Roma e Vienna*. Torino: Fondazione 1563 per l'Arte e la Cultura della Compagnia di San Paolo.

Mancini, F., Muraro, M.T. & Povoledo, E. (1996). *I Teatri di Venezia. Imprese private e teatri sociali*, vol. 2. Venezia: Corbo e Fiore Editori.

Mancini, F., Muraro, M.T. & Povoledo, E. (1995). *I Teatri del Veneto. Venezia. Teatri effimeri e nobili imprenditori*, vol. 1. Venezia: Corbo e Fiore Editori.

Mancini F., Muraro M.T. & Povoledo E. (1975). *Illusione e pratica teatrale. Proposte per una lettura dello spazio scenico dagli Intermedi fiorentini all'Opera comica veneziana*. Venezia: Neri Pozza.

Mangini, N. (1987). *Alle origini del teatro moderno: lo spettacolo pubblico nel Veneto tra Cinquecento e Seicento*. Modena: Mucchi.

- Mangini, N. (1974). *I teatri di Venezia*. Milano: Mursia.
- Marotti, F. (1974). *Lo spazio scenico. Teorie e tecniche scenografiche in Italia dall'età barocca al Settecento*. Roma: Bulzoni Editore.
- Martinelli, V. (1996). "Teatri sacri e profani" di Adrea Pozzo nella cultura prospettico-scenografica barocca. In V. De Feo & V. Martinelli (Ed.), *Andrea Pozzo (94-113)*. Milano: Electa.
- Martini, A. (1883). *Manuale di metrologia, ossia Misure, pesi e monete in uso attualmente e anticamente presso tutti i popoli*. Torino: E. Loescher.
- Martinioni, G. (1663). *Venetia città nobilissima et singolare, Descritta in XIII. Libri da M. Francesco Sansovino [...]. Con aggiunta Di tutte le Cose Notabili della stessa Città, fatte, & occorse dall'Anno 1580. Fino al presente 1663. Da D. Giustiniano Martinioni primo prete intitolato ai SS. Apostoli. Dove vi sono poste quelle del Stringa; servato però l'ordine del med. Sansovino. Con Tavole Copiosissime*. Venezia: Stefano Curti.
- Matteucci, A. M. (1979). *Palazzi di Piacenza dal Barocco al Neoclassico*. Torino: Istituto Bancario San Paolo di Torino.
- McNeil, T.J. (2023). *The exhibition and experience design handbook*. Lanham: Rowman & Littlefield.
- Mehzoud, S. (2019). Scenographic Exhibitions as Spaces of Encounter. *Curator: The Museum Journal*, 62(4), 629-648.
- Mello, B. (1979). *Trattato di scenotecnica: prospettiva teatrale, restituzioni, pratica nella pittura e nella confezione delle scene, macchineria, trucchi di palcoscenico, materiale elettrico, luminescenza e illuminotecnica, impianto elettronico*. Novara: Görlich.
- Merleau-Ponty, M. (1945). *Phénoménologie de la perception*. Paris: Gallimard.
- Miccini, R. & Spagnol, S. (2021). A hybrid approach to structural modeling of individualized HRTFs. In *Proceedings of the 2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Workshops*. Lisbon: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- Miccini, R. & Spagnol, S. (2020). HRTF individualization using deep learning. In *Proceedings of the 2020 IEEE Confe-*

rence on Virtual Reality and 3D User Interfaces Workshops. Atlanta: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Miccini, R. & Spagnol, S. (2019). Estimation of pinna notch frequency from anthropometry. An improved linear model based on principal component analysis and feature selection. In *Proceedings of the 1st Nordic Sound & Music Computing Conference*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.

Micheli, G. (1995). *Le origini del concetto di macchina*. Firenze: Leo Olschki.

Migliari, R. (2023). La prospettiva solida come strumento di analisi delle transizioni tra lo spazio euclideo e lo spazio della rappresentazione. In *Transizioni. Atti del 44° Convegno Internazionale dei Docenti delle Discipline della Rappresentazione*. Milano: FrancoAngeli.

Migliari, R. & Fasolo, M. (2022). *Prospettiva. Teoria e applicazioni*. Milano: Hoepli.

Milesi, F. (2001). *Giacomo Torelli. L'invenzione scenica nell'Europa. Barocca*. Fano: Fondazione Cassa di Risparmio di Fano.

Mohar Betancourt, L.M. (1990). *La escritura en el México antiguo*. Madrid: Plaza y Valdés Editores.

Møller, H. (1992). Fundamentals of binaural technology. *Applied Acoustics*, 36(3-4), 171-218.

Møller, H., Sørensen, M.F., Jensen, C.B., & Hammershøi, D. (1996). Binaural technique: Do we need individual recordings? *Journal of the Audio Engineering Society*, 44(6), 451-464.

Molmenti, P. (1919). *Curiosità di storia veneziana*. Bologna: Zanichelli.

Morselli, V. (2018). *I teatri barocchi e le scenografie spettacolari*. Roma: Dino Audino Editore.

Muraro, M.T. (1987). Il teatro Grimani a San Giovanni Grisostomo. *Biblioteca teatrale*, 5/6, 105-113.

Muraro, M.T. (1985). Il teatro Grimani a San Giovanni Grisostomo. Storia e documenti per la costruzione di un modello. *Domenico Scarlatti. I grandi centenari dell'anno europea della musica*, 121-149.

Nilsson, N.C., Nordahl, R., & Serafin, S. (2016). Immersion revisited: A review of existing definitions of immersion and their relation to different theories of presence. *Human Technology*, 12(2), 108-134.

Onofrei, M.G., Miccini, R., Unnthórsson, R., Serafin, S., & Spagnol, S. (2020). 3D ear shape as an estimator of HRTF notch frequency. In *Proceedings of the 17th Sound & Music Computing Conference*. Torino: Axa sas/SMC Network.

Ottani, A. (1963). Notizie sui Bibiena. *Rendiconto delle Sessioni della Accademia delle Scienze dell'Istituto di Bologna. Classe di Scienze Morali*, serie VI, II, 123-137.

Ottolini, G. (2015). Architetture, scene, mostre. In L. Basso Peressut, G. Bosoni & P. Salvadeo (Eds.), *Mettere in scena mettere in mostra* (151-156). Siracusa: LetteraVentidue.

Pavanello, I. (Ed.). (1981). *I catasti storici di Venezia: 1807-1913*. Roma: Officina Edizioni.

Pavis, P. (1998). Spazio scenico. In *Dizionario del teatro*. Bologna: Zanichelli.

Pélerin, J. (1505). *De Artificiali Perspectiva*. Tour: Pierre Jacques.

Perondi, L., Perri, A., & Romei, L. (2024). *Non-linear visual artifacts and the writing-reading interface*. AWILL, 2024.

Perondi, L., & Romei, L. (2022). Cose che si possono mostrare meglio con le figure: Analisi sinsemica degli anelli trinitari nel Liber Figurarum di Gioacchino da Fiore. *Giornale di Storia*, 40, 1-18.

Perri, A. (1994). *Il Codex Mendoza e le due paleografie*. Bologna: Clueb.

Phelan, P. (1993). *Unmarked. The Politics of Performance*. New York: Routledge.

Povoledo, E. (1979). Spazio scenico, prospettiva e azione drammatica nel teatro barocco italiano. In A. Schnapper (Ed.), *La scenografia barocca* (5-17). Bologna: Clueb.

Pozzo, A. (1693). *Prospettiva de' Pittori e architetti della Compagnia di Gesù. Parte prima*. Roma: Stamperia di Giò.

Pozzo, A. (1700). *Prospettiva de' Pittori e architetti della Compagnia di Gesù. Parte seconda*. Roma: Ex Thypographia Jo.

Profumo, R. (Ed.). (1992). *Trattato pratico di prospettiva di Ludovico Cardi detto il Cigoli*. Roma: Bonsignori Editore.

Purciello, M.A. (2005). *And Dionysus Laughed. Opera, Comedy and Carnival in Seventeenth-Century Venice and Rome*. Princeton: Doctoral dissertation, Princeton University.

Rainini, M. (2006). *Disegni dei tempi: Il Liber figurarum e la teologia figurativa di Gioacchino da Fiore*. Roma: Viella.

Reeves, M., & Hirsch-Reich, B. (1972). *The Figurae of Joachim of Fiore*. Oxford: Clarendon Press.

Resmini, A., & Rosati, L. (2011). *Pervasive information architecture: Designing cross-channel user experiences*. Amsterdam: Elsevier.

Richards, C., & Engelhardt, Y. (2022). Analysing and designing visualizations - Diagrammatics (1984) revisited. *Info-Design. Revista Brasileira De Design Da Informação*, 19(1), 1-19.

Rinuccini, O. (1639). *L'Arianna. Tragedia del signor Ottavio Rinuccini, gentil'huomo della camera del re christianissimo. Rappresentata in musica. Con licenza de' Superiori*. Venezia: Angelo Salvadori.

Robbe-Grillet, A. (1983). *Topologia di una città fantasma*. Milano: Guanda.

Robbe-Grillet, A. (1976). *Topologie d'une cité fantôme*. Paris: Les Éditions de Minuit.

Rosand, E. (2006). Gli esordi del teatro pubblico a Venezia: dal teatro di corte ai teatri d'opera a pagamento. In M. Bent, R. Dalmonte & M. Baroni (Eds.), *Enciclopedia della Musica* (403-415). Milano: Einaudi, 2006.

Sabbattini, N. (1638). *Pratica di fabricar scene, e machine ne' teatri di Nicola Sabbattini da Pesaro. Già Architetto del Serenissimo Duca Francesco Maria Feltrio della Rovere Ultimo Signore di Pesaro [...]*. Ravenna: per Pietro de' Paoli, e Gio. Battista Giovannelli Stampatori Camerali.

Sacchi, A. (2024). *Inappropriabili. Relazioni, opere e lotte nelle arti performative in Italia (1959-1979)*. Venezia: Marsilio.

Salvatore, M. (2020). Prospettici ingegni. Strumenti e metodi per la costruzione della prospettiva applicata. *disegno*, 6, 95-108.

Sansovino, F. (1581). *Venetia città nobilissima et singolare, Descritta in XIII. Libri da M. Francesco Sansovino. Nella quale si contengono tutte Le Guerre passate, con l'Attioni Illustri di molti Senatori. Le vite de i Principi, & gli Scrittori Veneti del tempo loro. Le Chiese, Fabriche, Edifici, & Palazzi pubblici, & privati. Le Leggi, gli Ordini, & gli Usi antichi & moderni, con altre cose appresso Notabili, & degne di Memoria.* Venezia: Iacomo Sansovino.

Schneider, R. (2011). *Performing Remains. Art and war in times of theatrical reenactment.* New York: Routledge.

Schneider, R. (2001). Performance Remains. «*Performance Research*», 6(2), 100-108.

Serlio, S. (1600). *Tutte l'opere d'architettura et prospetiva di Sebastiano Serlio Bolognese.* Venezia: Francesco de' Franceschi.

Singh, J. (2018). *No archive will restore you.* Santa Barbara: Punctumbooks.

Sinisgalli, R. (Ed.). (1984). *I sei libri della prospettiva di Guidobaldo dei Marchesi del Monte dal latino tradotti interpretati e commentati da Rocco Sinisgalli.* Roma: "L'erma" di Bretschneider Editore.

Skippon, P. (1745). *An Account of a Journey. Made Thro' Part of the Low-Countries, Germany, Italy, and France.* London: Churchill.

Soranzo, C. (2018). La nascita del "teatro alla veneziana". Il primato dei teatri Tron e Michiel nell'invenzione dell'edificio teatrale nel XVI secolo. *La Rivista di Engramma*, 152, 35-52.

Sottsass, E. (2017). *Ettore Sottsass - there is a planet: Texts and photographs.* Milano: Electa.

Spagnol, S. (2020 a). HRTF selection by anthropometric regression for improving horizontal localization accuracy. *IEEE Signal Processing Letters*, 27, 590-594.

Spagnol, S. (2020 b). Auditory model based subsetting of head-related transfer function datasets. In *Proceedings of the 45th IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing.* Barcelona: Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Spagnol, S., Miccini, R., Onofrei, M.G., Unnthórsson, R., & Serafin, S. (2021). Estimation of spectral notches from pinna meshes: Insights from a simple computational model. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 29, 2683-2695.

Spagnol, S., Miccini, R., & Unnthórsson, R. (2020). *The Viking HRTF dataset v2* [Data set]. Zenodo.

Spagnol, S., Wersényi, G., Bujacz, M., Bălan, O., Herrera Martínez, M., Moldoveanu, A., & Unnthórsson, R. (2018). Current use and future perspectives of spatial audio technologies in electronic travel aids. *Wireless Communications and Mobile Computing*, 2018, 3918284.

Spagnol, S., Purkhús, K. B., Björnsson, S. K., & Unnthórsson, R. (2019). *The Viking HRTF dataset*. In *Proceedings of the 16th Sound & Music Computing Conference*. Málaga: SMC Network.

Stefani, G. (2018). Francesco Santurini impresario d'Opera a Venezia (1674-1683). *Drammaturgia*, 5, 55-82.

Tamburini, E. (2012). *Gian Lorenzo Bernini e il teatro dell'arte*. Firenze: Le Lettere.

Tamburini, E. (2000). "Naturalezza d'artificio" nella finzione scenica berniniana: la Comica del Cielo di Giulio Rospigliosi (1668). In *Rassegna di Architettura e Urbanistica*, 98-100, 93-147.

Tamburini, E. (1997). *Due teatri per il principe. Studi sulla committenza teatrale di Lorenzo Onofrio Colonna (1659-1689)*. Roma: Bulzoni Editore.

Tamburini, E. (1994). *Scenotecnica barocca*. Roma: E & A Editori Associati.

Teston, L. (2024). Un'introduzione alla Public Interiority. In E. Bonini, A. Bosco, L. Calogero & M. Dalla Mura (Eds.), *Interior/Design. Espandere il campo* (67-81). Dueville: Ronzani.

Thornett, L. & Crawley, G. (2022). Staged: scenographic strategies in contemporary exhibition design. *Theatre and Performance Design*, 8(1-2), 3-6.

Trocchianesi, R. & Pils, G. (Eds.). (2017). *Design e rito: La cultura del progetto per il patrimonio rituale contemporaneo*. Milano-Udine: Mimesis.

Troili, G. (1683). *Paradossi per praticare la prospettiva senza saperla*. Bologna: Gioseffo Longhi.

Tsepapadakis, M. & Gavalas, D. (2023). Are you talking to me? An Audio Augmented Reality conversational guide for cultural heritage. *Pervasive and Mobile Computing*, 92, 101797.

Turner, N., & Plazzotta, C. (1991). *Drawing by Guercino from British Collections*. London: British Museum Press.

Välimäki, V., Parker, J.D., Savioja, L., Smith, J.O., & Abel, J.S. (2012). Fifty years of artificial reverberation. *IEEE Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 20(5), 1421-1448.

Vasari, G. (1568). *Delle vite de' più eccellenti pittori, scultori et atchitettori, Primo Volume della Terza parte*. Firenze: appresso i Giunti.

Vignola, I.B. (1583). *Le due regole della prospettiva pratica di M. Iacomo Barozzi da Vignola. Con commentarij del R.P.M. Egnatio Danti*. Roma: Francesco Zannetti.

Waddy, P. (1990). *Seventeenth-Century Roman Palaces: Use and the Art of the Plan*. New York: The Architectural History Foundation.

Waddy, P. (1976). The design and designers of Palazzo Barberini. *Journal of the Society of Architectural Historians*, 35(3), 151-185.

Whitehead, J. (2018). *Creating interior atmosphere: Mise-en-scène and interior design*. London: Bloomsbury Visual Arts.

Wilson, E., Goldfarb, A. & Pietrini, S. (2010). *Storia del teatro*. New York: McGraw-Hill Education.

Xie, B. (2013). *Head-Related Transfer Function and Virtual Auditory Display*. Fort Lauderdale, FL: J. Ross Publishing.

Zammar, L. (2017). *Scenography at the Barberini Court in Rome: 1628-1656*. Warwick: Doctoral dissertation, University of Warwick.

Zorzi, L., Muraro, M.T., Prato, G. & Zorzi, E. (Eds.). (1971). *I teatri pubblici di Venezia (secoli XVII-XVIII)*. Venezia: Zinchi.

Zuffi, S. (1992). *Guercino*. Milano: Elemond Arte.